

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **07190738 A**

(43) Date of publication of application: **28 . 07 . 95**

(51) Int. Cl.

G01B 11/24

G01B 9/02

G01M 11/00

(21) Application number: **05348014**

(71) Applicant: **OLYMPUS OPTICAL CO LTD**

(22) Date of filing: **24 . 12 . 93**

(72) Inventor: **ARIGA SUSUMU**

(54) **INTERFERENCE MEASURING METHOD**

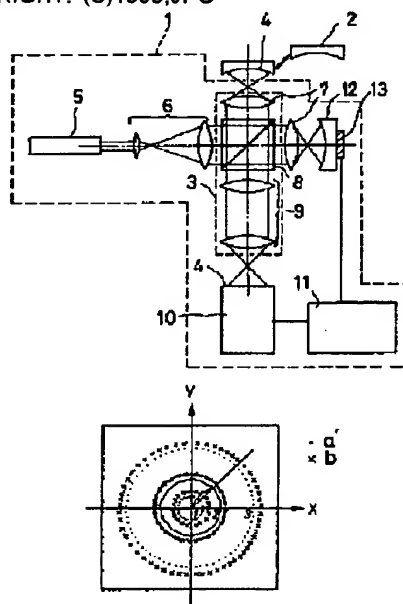
(57) Abstract:

PURPOSE: To accurately measure the surface profile of an optical element by correcting the distortion of an interference fringe based on a mapping relation between the images of marking points over a detected surface, which are projected to an image receiving surface, and ideal imaging points which have been linearized using a projection-magnifying power.

CONSTITUTION: A master lens 2 on which coordinates forming a reference surface are marked as a reference, is installed in stead of a lens having a detected surface, and when the aforesaid master lens is illuminated by light from the light source 5 of an interferometer 1, marking point images a' are projected over an image receiving surface 4. These images are then photographed 10, are forwarded to a computer 11, and the polar coordinate positions of each image a' is determined, so that mapping relation over a circumference between each ideal imaging point b over the image receiving surface 4, which has been linearized using a magnifying power of a measuring optical system 3, and each aforesaid polar coordinate position, is thereby determined. After that, the lens 2 is replaced with the detected surface, and a reference surface 12 is installed, so that an interference fringe is thereby formed over the image receiving surface 4. At this time, the reference surface 12 is moved by a piezo 13, the

profile of the detected surface is determined based on a moving relation between the reference surface 12 and the interference fringe, and profile data is rearranged based on a mapping relation between each point image a' and each ideal imaging point b , so that a distortion is thereby corrected.

COPYRIGHT: (C)1995,JPO



Japanese Unexamined Patent Application Publication No. 7-
190738

[Means for Solving the Problems] An interference-measuring method according to the present invention, in which an interferometer is used which separates a light beam emitted from a light source into two light beams, radiates one of the two light beams on a reference surface and the other one of the two light beams on a test surface, obtains interference fringes by causing the light beam reflected by the reference surface and the light beam reflected by the test surface to interfere with each other, and determines the shape of the test surface on the basis of the obtained interference fringes, the interference-measuring method including the steps of projecting a test surface on which marks are formed onto an image-reception surface of the interferometer; obtaining the mapping relationship between images of the marks projected on the image-reception surface and ideal image-forming points on the image-reception surface obtained by linear conversion by using the projection magnification of an optical system of the interferometer; and correcting distortion of the interference fringes on the basis of the obtained mapping relationship.

[0006] Figs. 1 to 3 are schematic diagrams for explaining

the interference-measuring method according to the present invention. In Fig. 1, a, b, and c show a master lens used in the interference-measurement method, where a is a perspective view, b is a plan view, and c is a sectional view cut along the X axis. Fig. 2 is a front view of an image-reception surface of an interferometer, and Fig. 3 is an explanatory diagram showing the relationship between the master lens and the image-reception surface.

[0007] The interference-measuring method of the present invention is applied to a typical interferometer. As shown in Fig. 1, a to c, a standard surface of a master lens has the same shape as a test surface in a coordinate system of the test surface where the central point of the test surface is defined as the origin. Marks including multiple points and lines whose coordinates are known are formed on the master lens (in Fig. 1, b, the marks are shown as points a and a line formed along circles). In Fig. 1, the coordinate system of the master lens designed to have the same shape as the test surface and marking points a are shown. In the coordinate system shown in Fig. 1, the x axis and y axis extend along the test surface, and the z axis extends perpendicularly to a tangential plane of the test surface at the origin of the test surface. In Fig. 2, marking-point images a' of the marking points a formed on an image-reception surface of the interferometer are indicated by

dots, and ideal image-forming points b for the marking points a obtained by calculation are indicated by "x" marks. [0008] The operation of the present invention will be illustrated below. When the shape of the test surface is measured by using the interferometer, the master lens, on which the marks are formed as shown in Fig. 1, b , is attached to the interferometer instead of the test surface. The marking points of the master lens are projected onto the image-reception surface of the interferometer by an optical system of the interferometer. Accordingly, as shown in Fig. 2, the marking points a are projected onto the image-reception surface of the interferometer at the positions of the marking-point images a' , and the coordinates X and Y of the marking-point images a' on the image-reception surface can be determined. The image of the origin O of the marking points a of the master lens projected on the image-reception surface is defined as the origin O' in the coordinate system on the image-reception surface. When the magnification of the optical system of the interferometer is defined as β , the ideal image-forming points of the marking points a on the image-reception surface can be calculated by linear transformation as follows:

[Expression 1]

$$b(\rho'', \theta'') = \begin{bmatrix} \beta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} a(\rho, \theta)$$

$$\rho'' = \sqrt{X^2 + Y^2}, \quad \theta'' = \text{TAN}^{-1}(Y/X)$$

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad \theta = \text{TAN}^{-1}(y/x)$$

[0009]

[Expression 1]

[0010] The marking-point images are expressed as $a'(\rho', \theta')$ in polar coordinates. The marking points of the master lens are defined as $a(\rho_i, \theta_i)$, and the marking-point images corresponding thereto are defined as $a'(\rho'_i, \theta'_i)$. In addition, the ideal image-forming points of $a(\rho_i, \theta_i)$ on the image-reception surface obtained by calculation are defined as $b(\rho''_i, \theta''_i)$. When the mapping relationship between $a'(\rho'_i, \theta'_i)$ and $b(\rho''_i, \theta''_i)$ is obtained, the ideal image-forming positions which are not affected by distortion due to the optical system of the interferometer can be calculated on the basis of the marking-point positions affected by distortion. Accordingly, when the test surface is measured, distortion of the interference fringes on the image-reception surface can be corrected by correcting the position of the interference fringes on the basis of the mapping relationship between $a'(\rho', \theta')$ and $b(\rho'', \theta'')$.

[0011]

[First Embodiment] Figs. 4 to 6 show a first embodiment. Fig. 4 is a schematic diagram showing the construction of an interferometer used in the first embodiment. In Fig. 5, a,

b, and c are diagrams for explaining a master lens used in the first embodiment, where a is a sectional view, b is a plan view, and c is a perspective view. Fig. 6 is a front view of an image-reception surface.

[0012] In Fig. 4, reference numeral 1 denotes an interferometer for measuring the shape of a test surface 14 having an aspherical shape (a lens having a test surface is hereinafter referred to as a "test surface"). A master lens 2 is designed to have the same shape as the test surface 14. As shown in Fig. 5, a to c, in the coordinate system of the test surface 14 where the central point of the test surface 14 is defined as the origin, marks whose coordinates are known are formed on the master lens 2, the marks including multiple points a placed where $\rho = \rho_1$, ρ_2 , and ρ_3 in polar coordinates and a line formed along $\rho = \rho_2$. The interferometer 1 includes a reference surface 12 which is also designed to have the same shape as the test surface 14; a light source 5; an illumination optical system 6; a measurement optical system 3 for projecting light incident on and reflected by the reference surface 12 and the test surface 14 on an image-reception surface 4; a camera 10 for capturing interference fringes formed by the reference surface 12 and the test surface 14 as an image; the image-reception surface 4 of the camera 10; a piezoelectric element 13 for moving the reference surface 12 by a small

amount; and a computer 11 for controlling the movement of the piezoelectric element 13 and analyzing data of the interference fringes captured by the camera 10.

[0013] The measurement optical system 3 includes a beam splitter 8 for separating illumination light into a light component incident on the test surface 14 and a light component incident on the reference surface 12 and combining the light components reflected by the test surface 14 and the reference surface 12; an objective lens 7 for illuminating and projecting the reference surface 12 and the test surface 14; and a focusing lens system 9 for projecting illumination light combined by the beam splitter 8 onto the image-reception surface 4 and focusing the images of the reference surface 12 and the test surface 14 onto the image-reception surface 4.

[0014] In Fig. 5, a to c, the marks are formed on the master lens 2 on the basis of the coordinate system of a standard surface of the master lens 2. The marks are formed while applying a scale to the master lens 2 and measuring the position with a magnification projection device. As shown in Fig. 5, a, a rectangular coordinate system including x' , y' , and z axes which cross at the origin of the master lens 2 is established. The standard surface of the master lens 2 is designed such that the shape thereof along the x' direction is expressed as $z = f(x')$, and the

marking points of the master lens 2 satisfy the following expression:

[Expression 2]

$$x_i = \int \sqrt{1 + (dz/dx')^2} dx' \quad (\text{integration range is } 0 \leq x' \leq x'_i)$$

[0015]

[Expression 2]

[0016] In Expression 2, x'_i is the x' coordinate corresponding to x_i , and y'_i is the y' coordinate corresponding to y_i . In addition, x_i and y_i are the x coordinate and y coordinate, respectively, of the marking points a on the master lens 2. Similarly, z , y' , and y_i also satisfy the following expression:

[Expression 3]

$$y_i = \int \sqrt{1 + (dz/dy')^2} dy' \quad (\text{integration range is } 0 \leq y' \leq y'_i)$$

[0017]

[Expression 3]

[0018] In addition, as described above, the marking points a include a plurality of points placed where $\rho = \rho_1$, ρ_2 , and ρ_3 in a polar coordinate system and a line formed along $\rho = \rho_2$, and are expressed by coordinates representing positions on circles in the master lens 2. Numbers are assigned to each circle on which the marks are formed (numbers 1, 2, and 3 are shown in Fig. 5, b). Fig. 6 shows the marking-point

images a' (indicated by dots in Fig. 6) formed on the image-reception surface 4 and the ideal image-forming points b (indicated by "x" marks in Fig. 6). Although the ideal image-forming points b are obtained by calculation and do not appear on the image-reception surface 4, they are shown in the figure in order to facilitate understanding.

[0019] The interference-measuring method using the above-described construction will be described below. When the shape of the test surface 14 is to be measured by the interferometer 1, the master lens 2 is attached to the interferometer 1 instead of the test surface 14. The master lens 2, which is marked as shown in Fig. 5, a to c, is illuminated by the light source 5, the illumination optical system 6, the beam splitter 8, and the objective lens 7 in the interferometer 1. Accordingly, the marking points a of the master lens 2 are projected onto the image-reception surface 4 of the interferometer 1 by the measurement optical system 3. More specifically, the marking points a are projected onto the image-reception surface 4 by the objective lens 7, the beam splitter 8, and the focusing lens system 9. In order for the marking points to appear clearly on the image-reception surface 4, the reference surface 12 is removed beforehand.

[0020] As shown in Fig. 6, the marking points a of the master lens 2 are projected onto the image-reception surface

4 as the marking-point images a' , and the camera 10 captures the marking-point images a' and transmits the image information to the computer 11. Then, the computer 11 calculates the coordinates (polar coordinates) of the marking-point images a' . In order to define the projection of the origin of the marking points a of the master lens as the origin of the coordinate system in the image-reception surface 4, polar-coordinate conversion is performed for each marking-point image a' with respect to the origin. The positional relationship is evaluated on the basis of the number (1, 2, and 3 in Fig. 5, b) assigned to each circle on which the marking points are formed. In addition, the ideal image-forming points b of the marking points a of the master lens 2 on the image-reception surface 4 are determined on the basis of [Expression 1] by assigning the magnification β of the measurement optical system 3.

[0021] The marking-point images are expressed as $a'(\rho', \theta')$ in polar coordinates. The marking points of the master lens 2 are defined as $a(\rho_i, \theta_i)$, and the marking-point images corresponding thereto are defined as $a'(\rho'_i, \theta'_i)$. In addition, the ideal image-forming points for $a(\rho_i, \theta_i)$ are defined as $b(\rho''_i, \theta''_i)$. A function to convert $a'(\rho'_i, \theta'_i)$ to $b(\rho''_i, \theta''_i)$, that is, a mapping function G which satisfies $(\rho'', \theta'') = G(\rho', \theta')$, is calculated.

[0022] In the process of obtaining the mapping function G ,

conversion between ρ' and θ' along the circumferential direction, that is, $\rho' = f(\theta')$, is obtained by the spline interpolation method under the condition $\rho_i = \text{constant}$. In addition, the mapping relationship between the ideal image-forming points b and the marking-point images a' along the circumferential direction is obtained as conversion between θ'' and θ' , that is, $\theta'' = g(\theta')$, by the spline interpolation method. In addition, in a similar manner, conversion between θ' and ρ' along the radial direction, that is, $\theta' = f(\rho')$, is obtained by the spline interpolation method under the condition $\theta_i = \text{constant}$. In addition, the mapping relationship between the ideal image-forming points b and the marking-point images a along the radial direction is obtained as conversion between ρ'' and θ' , that is, $\rho'' = g(\rho')$, by the spline interpolation method.

[0023] Next, in order to measure the shape of the test surface 14, the master lens 2 and the test surface 14 are exchanged. In addition, the reference surface 12 is attached so that the interference fringes are formed on the image-reception surface 4 by the interferometer 1. The computer 11 controls the piezoelectric element 13 so as to move the reference surface 12, and the shape of the test surface 14 is determined by the fringe-scan method on the basis of the relationship between the movement of the reference surface 12 and that of the interference fringes.

The computer 11 corrects the distortion of the determined shape by changing the order of the shape data on the basis of the mapping relationship between the marking-point images and the ideal image-forming points.

[0024] In the present embodiment, the spline interpolation method is used for determining the mapping relationship between the marking-point images a' and the ideal image-forming points b . Accordingly, the mapping relationship at positions where the marks are not formed can also be obtained. Therefore, correction precision can be increased and the measurement precision can be increased accordingly.

[0025] Although the interference-measuring method for an aspherical lens is described in the present embodiment, the present invention is not limited to this, and the present invention may also be applied to a spherical lens.

[0026]

[Second Embodiment] In a second embodiment, θ' described in the first embodiment is assumed to be $\theta' \approx \theta''$. In addition, in the process of determining the relationship between ρ' and ρ'' , the least squares method is applied to the equation of distortion $\rho' = C_3(\rho'')^3 + C_5(\rho'')^5$, and the third-order coefficient (C_3) and the fifth-order coefficient (C_5) of this equation are determined. Thus, correction is performed on the basis of the mapping relationship between ρ' and ρ'' determined by this equation. Other constructions and

operations of the present embodiment are the same as those in the first embodiment, and the explanations thereof are thereby omitted.

[0027] In the present embodiment, in the process of determining the relationship between ρ' and ρ'' , the least squares method is applied to the equation of distortion $\rho' = C_3(\rho'')^3 + C_5(\rho'')^5$. At this time, the coefficients of the equation of distortion C_3 and C_5 are determined for $\rho'i$ corresponding to $\rho''i$. In the correcting process, ρ' corresponding to ρ'' is calculated and the order of the shape data is changed.

[0028] According to the present embodiment, the degree of distortion of the interference fringes can be quantitatively evaluated as the distortion due to optical aberrations. In addition, even when the marking points on the image-reception surface are deformed due to asymmetric aberrations, such as comatic aberration, and errors occur in the process of obtaining the coordinates of the marking points, correction can be performed with high precision.

[0029]

[Advantages] As described above, according to the interference-measuring method of the present invention, even when the test surface has an aspherical shape, distortion of the interference fringes due to the shape of the test surface and the measurement optical system of the

interferometer can be corrected, and the measurement precision of the shape measurement can be increased.

[Brief Description of the Drawings]

[Fig. 1] In Fig. 1, a, b, and c are diagrams showing the present invention, where a is a perspective view, b is a plan view, and c is a sectional view.

[Fig. 2] Fig. 2 is a front view showing the present invention.

[Fig. 3] Fig. 3 is an explanatory drawing showing the present invention.

[Fig. 4] Fig. 4 is a schematic diagram showing a first embodiment.

[Fig. 5] In Fig. 5, a, b, and c are diagrams showing the first embodiment, where a is a sectional view, b is a plan view, and c is a perspective view.

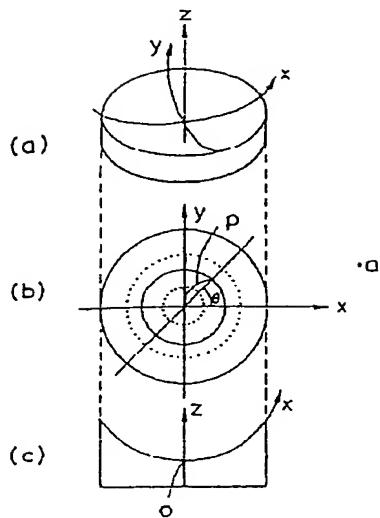
[Fig. 6] Fig. 6 is a front view showing the first embodiment.

[Reference Numerals]

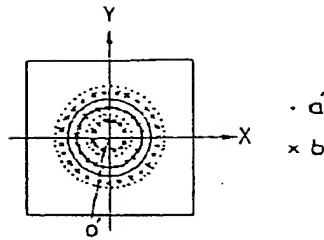
- 1: interferometer
- 2: master lens
- 3: measurement optical system
- 4: image-reception surface
- 5: light source
- 6: illumination optical system
- 7: objective lens

- 8: beam splitter
- 9: focusing lens system
- 10: camera
- 11: computer
- 12: reference surface
- 13: piezoelectric element
- 14: test surface

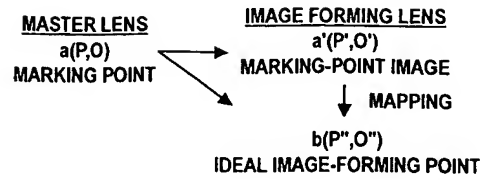
[Fig. 1]



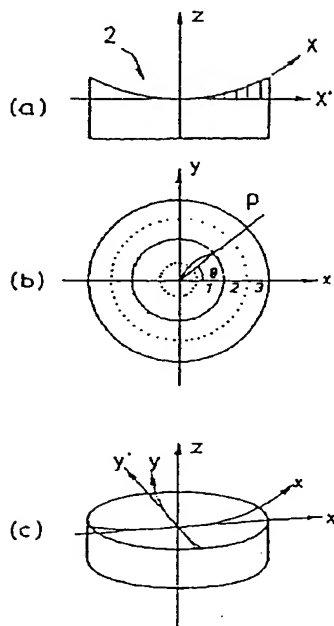
[Fig. 2]



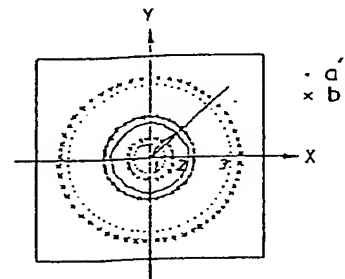
[Fig. 3]



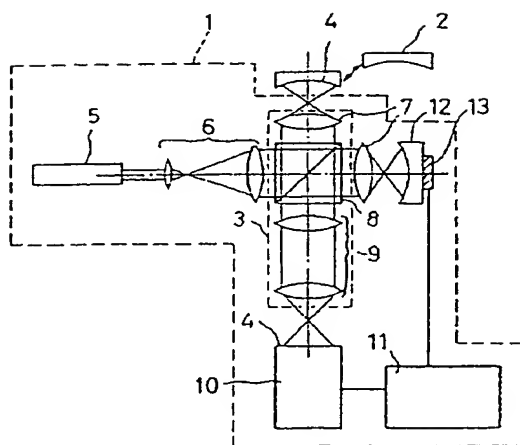
[Fig. 5]



[Fig. 6]



[Fig. 4]



(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-190738

(43)公開日 平成7年(1995)7月28日

(51)Int. Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

FI

技術表示箇所

G01B 11/24

D

9/02

G01M 11/00

L 9309-2G

審査請求 未請求 請求項の数1 FD (全5頁)

(21)出願番号 特願平5-348014

(22)出願日 平成5年(1993)12月24日

(71)出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72)発明者 有賀 進

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オ

リンパス光学工業株式会社内

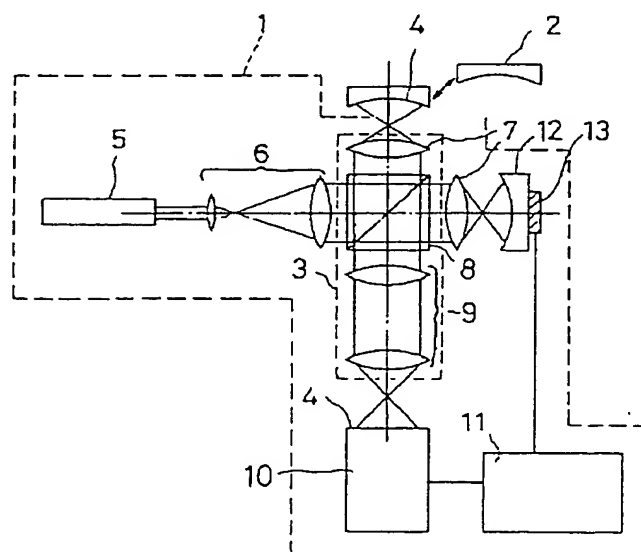
(74)代理人 弁理士 奈良 武

(54)【発明の名称】 干渉測定方法

(57)【要約】

【目的】 被検面の形状が非球面の場合でも、被検面の形状および干渉計の測定光学系による干渉縞の歪みを補正することができ、面形状測定の測定精度の向上を図る。

【構成】 1は非球面形状をもつ被検面14を測定する干渉計で、被検面14の中心を原点とした被検面14上の座標に対して、極座標上で多数の点aおよび線となるように予め座標位置の知られたマーキングがされたマスターレンズ2と、参照面12と、光源5と、照明用光学系6と、照射された光の反射光を受像面4に投影するための測定光学系3と、干渉縞を画像として取り込む測定用カメラ10と、測定用カメラ10の受像面4と、参照面12を微小量移動させるためのピエゾ13と、干渉縞のデータを解析するためのコンピュータ11とよりなる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光源から射出された光束を2分し、一方の分割光束を参照面に、他方の分割光束を被検面にそれぞれ入射させ、各々の反射光を干渉させて得られた干渉縞から被検面の形状を測定する干渉計を用い、マーキングされた被検面を前記干渉計の受像面に投影し、その投影されたマーキングポイント像と干渉計の光学系の投影倍率により線型変換された受像面上の理想結像点との写像関係から、前記干渉縞の歪みを補正することを特徴とする干渉測定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光学素子の面形状を高精度に測定する干渉測定方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来、被検面の形状を測定する手段として干渉計を用いた方法が知られている。その方法として、例えば特開平4-48201号公報に記載される干渉測定装置がある。上記発明は、干渉計により精度の良い（設計形状に近く、鏡面である）被検面と参照面との干渉縞を出し、被検面を傾けて平行直線上の干渉縞にする。ディストーションが無いときは、干渉縞は平行で等間隔になるが、ディストーションがあるときは干渉縞に歪みがある。この時、被検面の傾きと、この干渉縞の歪みとからディストーション量を求め、求められたディストーション量を補正値として被検面測定データの補正を行うものである。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、前記従来技術においては以下のような問題点があり、被検面の測定手段としては満足できるものではなかった。すなわち、被検面が非球面の場合、被検面を傾けるとコマ収差を発生するため、縞の歪みにディストーション以外の干渉縞の変化が生じる。このため、被検面の測定データにおいて、歪みを補正できなくなるという問題点があった。

【0004】 因って、本発明は上記従来技術の問題点を鑑みてなされたもので、上記の影響を無くし、被検面の測定データの歪みを補正することができる干渉測定方法の提供を目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段および作用】 本発明は、光源から射出された光束を2分し、一方の分割光束を参照面に、他方の分割光束を被検面にそれぞれ入射させ、各々の反射光を干渉させて得られた干渉縞から被検面の形状を測定する干渉計を用い、マーキングされた被検面を前記干渉計の受像面に投影し、その投影されたマーキングポイント像と干渉計の光学系の投影倍率により線型変換された受像面上の理想結像点との写像関係から、前記干渉縞の歪みを補正する方法である。

【0006】 図1～図3は本発明の干渉測定方法の概略を示し、図1 a, b, cは使用されるマスターレンズを説明するもので、aは斜視図、bは平面図、cはX軸上での断面図、図2は干渉計の受像面の正面図、図3はマスターレンズと受像面との関係の説明図である。

【0007】 本発明の干渉測定方法は一般的な干渉計に適用される。図1 a～cに示す様に、マスターレンズの基準面は被検面の中心を原点とした被検面上の座標に対して同一となるものであり、予め座標位置の知られたマーキングが多数の点および線として付与されている（図1 bでは同一円周上に点aとして、および円として図示）。ここでは、被検面と同様な設計形状を持つマスターレンズの座標関係（x軸、y軸は被検面の周長上であり、z軸は被検面の原点の接平面に垂直である）とマーキングポイントaを示している。図2には、干渉計の受像面における座標上のマスターレンズのマーキングポイントaのマーキングポイント像a'を点として、マーキングポイントaに対する計算上の理想結像点bをxで示している。

【0008】 以下、本発明の作用を説明する。干渉計を用いて被検面の形状を測定する際、被検面の代わりに図1 bに示す様なマーキングされたマスターレンズを取り付ける。マスターレンズのマーキングポイントaは、干渉計の光学系により干渉計の受像面に投影される。この時、マスターレンズのマーキングポイントaは、図2に示す様に、干渉計の受像面においてマーキングポイント像a'の位置に写り、受像面においての座標位置がX, Yで求められる。この時、マスターレンズのマーキングポイントaの原点Oの投影像を受像面の座標の原点O'とする。また、マスターレンズのマーキングポイントaの受像面における理想結像は、干渉計の光学系の倍率βにより、以下の

【数1】

$$b(\rho'', \theta'') = \begin{vmatrix} \beta & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} a(\rho, \theta)$$

$$\rho'' = \sqrt{(X^2 + Y^2)}, \theta'' = \text{TAN}^{-1}(Y/X)$$

$$\rho = \sqrt{(x^2 + y^2)}, \theta = \text{TAN}^{-1}(y/x)$$

に線型変換される。

【0009】

【数1】

【0010】 また、a'は極座標で、a' (ρ', θ')と表わされる。この時、マスターレンズのマーキングポイントをa (ρ i, θ i)としてそれに対する受像面のマーキングポイント像をa' (ρ' i, θ' i)とする。また、a (ρ i, θ i)に対する受像面における計算上の理想結像点をb (ρ'' i, θ'' i)とする。

ここで、 a' ($\rho' i, \theta' i$) から ($\rho'' i, \theta'' i$) への写像関係を求めると、干渉計の光学系による歪を受けたマーキングポイント位置から、歪を受けない計算上の理想的な結像位置を求めることができる。このため、被検面を測定するとき、干渉計の光学系により得られた受像面上の干渉縞の位置を、この写像関係、すなわち a' (ρ', θ') から b (ρ'', θ'') に補正することにより、干渉縞の歪みを補正することになる。

【0011】

【実施例1】図4～図6は本実施例を示し、図4は本実施例で用いる干渉測定計の概略構成図、図5 a, b, c は使用されるマスターレンズを説明するもので、aは断面図、bは平面図、cは斜視図、図6は受像面の正面図である。

【0012】図4において、1は非球面形状をもつ被検面14（以下、被検面を有するレンズを被検面という）を測定する干渉計で、被検面14の中心を原点とした被検面14上の座標に対して、図5 a～cに示す様に、極座標 ρ_1, ρ_2, ρ_3 上で多数の点aおよび ρ_1 上に線となるように予め座標位置の知られたマーキングがされた被検面14と設計上同一な形状を有するマスターレンズ2と、被検面14と同様な設計形状を持つ参照面12と、光源5と、照明用光学系6と、照明用光学系6により被検面14および参照面12への照射された光の反射光を受像面4に投影するための測定光学系3と、参照面

$$x_i = \int \sqrt{1 + (dz/dx')^2} dx' \quad (\text{積分区間は } 0 \leq x' \leq x'_i)$$

の関係がある。

【0015】

【数2】

【0016】ただし、 x'_i は x_i に対する x' 座標の位置であり、 y'_i は y_i に対する y' 座標の位置であ

$$y_i = \int \sqrt{1 + (dz/dy')^2} dy' \quad (\text{積分区間は } 0 \leq y' \leq y'_i)$$

に示す様に成り立つ。

【0017】

【数3】

【0018】また、マーキングポイントaは、前述の様に、極座標 ρ_1, ρ_2, ρ_3 上の多数の点で、また ρ_1 上の線としてマスターレンズ2の周長上の座標で表わされ、円周上にマーキングされ、各円周上で番号（図5 b に i, j, k にて図示）が付されている。図6は、受像面4の座標のマーキングポイント像 a' （図6中に点で示す）と理想結像点b（図6中にxで示す）である。この理想結像点bは、計算上で求められるもので、受像面4には表われないが、理解を容易にするために開示してある。

【0019】以下、上記構成を用いての干渉測定方法を説明する。干渉計1において、被検面14の形状を測定するとき、被検面14の代わりにマスターレンズ2を取り付ける。マスターレンズ2は、図5 a～cの関係より

12と被検面14より形成された干渉縞を画像として取り込む測定用カメラ10と、測定用カメラ10の受像面4と、参照面12を微小量移動させるためのピエゾ13と、ピエゾ13の移動を制御し、測定用カメラ10によりとらえられた干渉縞のデータを解析するためのコンピュータ11とよりなる。

【0013】測定用光学系3は照明光を被検面14側と参照面12側とに分け、それぞれの反射光を合わせるためのビームスプリッタ8と、被検面14と参照面12とに対して照明および投影するための対物レンズ7と、ビームスプリッタ8により合わされた照明光を受像面4に投影するとともに参照面12および被検面14と結像関係にするためのフォーカスレンズ系9とよりなる。

【0014】図5 a～cに示すマスターレンズ2は、そのマーキングをマスターレンズ2の基準面を形成している座標を基準とて行ったものである。マーキング方法は、マスターレンズ2にスケールを当てて拡大投影器で位置を計りながら行う。この時、図5 aに示すごとく、座標はマスターレンズ2の原点より直交座標 x', y', z をとる。マスターレンズ2の基準面は設計上、 x' 方向に断面形状を表わす関数、 $z = f(x')$ の関係があるとし、マスターレンズ2上のマーキングポイントaは

【数2】

る。 x_i, y_i はマスターレンズ2面上の座標 x, y のマーキングポイント位置である。この関係は、同様に z と y' と y_i についても

【数3】

$$dy' \quad (\text{積分区間は } 0 \leq y' \leq y'_i)$$

マーキングされ、干渉計1の光源5と照明用光学系6とビームスプリッタ8と対物レンズ7により照明される。この時、マスターレンズ2のマーキングポイントaは、測定光学系3により、干渉計1の受像面4に投影される。すなわち、対物レンズ7とビームスプリッタ8とフォーカスレンズ系9により受像面4に投影される。この時、マーキングポイントが受像面4で鮮明に観察されるように参照面12をはずしておく。

【0020】マスターレンズ2のマーキングポイントaは、図6に示す様に、受像面4においてマーキングポイント像 a' の位置に写り、測定用カメラ10によりマーキングポイント像 a' をとらえ、画像情報をコンピュータ11に送り座標位置（極座標位置）を求める。このとき、マスターレンズのマーキングポイントaの原点の投影像を受像面4の座標の原点とするため、各マーキングポイント像 a' を原点に合わせて、極座標変換する。マーキングポイントの同じ円周上に付された番号（図5 b

における、 i, j, k)により各位置関係を判断する。また、マスターレンズ2のマーキングポイントaの受像面4における理想結像点bは、測定光学系3の倍率 β により、

【数1】の式で線型変換される。

【0021】 a' は極座標で、 $a'(\rho', \theta')$ と表わされる。この時、マスターレンズ2のマーキングポイントを $a(\rho i, \theta i)$ として、それに対する受像面のマーキングポイント像を $a'(\rho' i, \theta' i)$ とする。また、 $a(\rho i, \theta i)$ に対する理想結像点を $b(\rho'' i, \theta'' i)$ とする。ここで、 $a'(\rho' i, \theta' i)$ を $b(\rho'' i, \theta'' i)$ に変換する関係、写像 $G, (\rho'', \theta'') = G(\rho', \theta')$ を求める。

【0022】写像Gをもとめるとき、 ρi ＝一定とした条件で ρ' と θ' の変換 $\rho' = f(\theta')$ の関係で、スプライン補間法により、円周上に補間する。また、 θ'' と θ' の変換 $\theta'' = g(\theta')$ の関係で、スプライン補間法により、理想結像点bとマーキングポイント像 a' の円周上の写像関係を求める。さらに、同様の方法で、 θi ＝一定とした条件で、 θ' と ρ' の変換 $\theta' = f(\rho')$ の関係で、スプライン補間法により、放射線上に補間する。また、 ρ'' と θ' の変換 $\rho'' = g(\rho')$ の関係でスプライン補間法により、理想結像点bとマーキングポイント像aの放射線上の写像関係を求める。

【0023】次に、被検面14の形状を測定するため、マスターレンズ2と被検面14とを交換する。また、参照面12を取り付け、干渉計1により受像面4上に干渉縞を形成させる。このとき、コンピュータ11によりピエゾ13を制御して参照面12を動かし、フリンジスキヤン法により、参照面12と干渉縞の移動関係により、被検面14の形状を求める。この求められた形状をコンピュータ11により、マーキングポイント像と理想結像点との写像関係より、形状データを並べかえて歪みを補正する。

【0024】本実施例によれば、マーキングポイント像 a' と理想結像点bの写像関係を求めるとき、スプライン補間法を用いることにより、マーキングされていないところでも写像関係が求められるため、補正精度をあげることができ、より測定精度をあげることができる。

【0025】尚、本実施例では非球面レンズの干渉測定方法について述べたが、これに限らず、球面レンズについても適用可能である。

【0026】

【実施例2】本実施例では、前記実施例1における θ' を $\theta' = \theta''$ として、 ρ' と ρ'' の関係を求めるとき、ディストーションの式、 $\rho' = C_1(\rho'')^3 + C_2(\rho'')^5$ に最小二乗法により近似をして、ディスト

ーションの3次および5次の係数(C_1 および C_2)を求め、この式を用い ρ'' と ρ' の写像関係をもとめて補正を行う。その他の構成および作用は前記実施例1と同一であり、その説明を省略する。

【0027】本実施例において、 ρ' と ρ'' の関係を求めるとき、ディストーションの式 $\rho' = C_1(\rho'')^3 + C_2(\rho'')^5$ に、最小二乗法により近似をするが、このとき $\rho'' i$ に対する $\rho' i$ に対して、ディストーションの係数 C_1 および C_2 を求める。補正を行うときは、ディストーションの式を用い、 ρ'' に対する ρ' の解を求め、形状データを並びかえる。

【0028】本実施例によれば、干渉縞の歪み具合を光学的収差のディストーションとして、歪みの大きさを定量的に評価でき、また、コマ収差等の非対称な収差により受像面上のマーキングポイントの形状が変形して、座標位置を求めるときに誤差が出るときでも、補正精度を上げることができる。

【0029】

【発明の効果】以上説明した様に、本発明に係る干渉測定方法によれば、被検面の形状が非球面の場合でも、被検面の形状および干渉計の測定光学系による干渉縞の歪みを補正することができ、面形状測定の測定精度の向上を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】a, b, cはそれぞれ本発明を示し、aは斜視図、bは平面図、cは断面図である。

【図2】本発明を示す正面図である。

【図3】本発明を示す説明図である。

【図4】実施例1を示す概略構成図である。

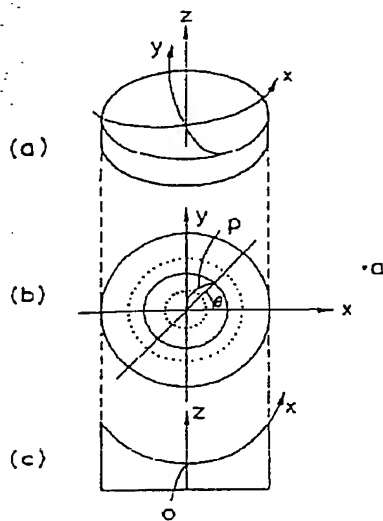
【図5】a, b, cはそれぞれ本実施例1を示し、aは断面図、bは平面図、cは斜視図である。

【図6】実施例1を示す正面図である。

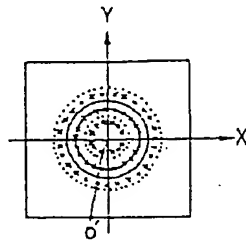
【符号の説明】

- 1 干渉計
- 2 マスターレンズ
- 3 測定用光学系
- 4 受像面
- 5 光源
- 6 照明光学系
- 7 対物レンズ
- 8 ビームスプリッタ
- 9 フォーカスレンズ系
- 10 測定用カメラ
- 11 コンピュータ
- 12 参照面
- 13 ピエゾ
- 14 被検面

【図1】



【図2】



【図3】

マスター・レンズ

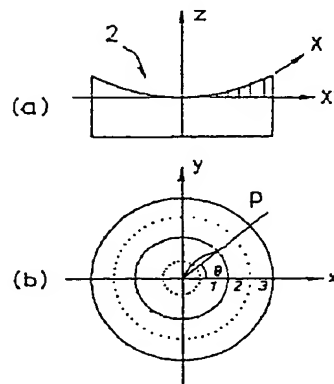
 $a(P, 0)$
マスキングポイント位置

受信面

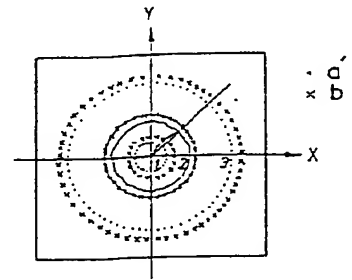
 $a'(P', 0')$
マスキングポイント位置
↓写像

 $b(P', 0')$
理想焦点位置

【図5】



【図6】



【図4】

